



観測ロケットS-520-34号機(写真左)とKSドーム(写真右)

液体推進剤を用いたデトネーションエンジンを搭載したS-520-34号機は、2024年11月14日にJAXA内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。このエンジンに使用する液体推進剤は厳密な温度管理を必要とするため、推進剤充填後の最終点検は比較的温度が安定し易いKSドーム内で実施しました。このドームは今年度中に解体予定のため、残念ながら今回で見納めです。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

迫れ、あかつきの星！(5)

～金星の雷を追い求めて～

北海道大学 大学院理学研究院 教授 高橋 幸弘(たかはし ゆきひろ)

金星に雷は存在するか

金星探査機「あかつき」がまだその名で呼ばれる前、JAXAによる金星探査計画の検討が始まったころ、金星に雷が存在するかという問いに対する決着がつかないまま、すでに20年近く議論が続いていました。NatureやScienceなどの著名な学術誌や地球惑星科学を代表するジャーナルで、存否をめぐる研究が熱いバトルを繰り広げていました。雷は地球ではありふれた現象の1つであり、科学研究の対象としては、1752年にBenjamin Franklinが雷雲中の帯電を証明して以来多くの調査がなされました。1920年代には米国の財団が所有するカーネギー号という海洋調査船が鉛直方向の大気中の静電場を観測し、それが世界中の雷活動の結果であることが示されるなど、時代時代の先端的な存在でした。太陽系探査時代に入ると、木星や土星では雷の発する電波や発光が発見され、地球以外の大気中でも起こる普遍的な現象であることが明らかになりました。これらの惑星で取得されたデータは、雷の発生を物語る比較的明白な証拠として受け入れられてきました。ところが金星については状況が全く異なりました。

雷(雷放電)は、非常に広い周波数範囲の電磁波と音波、さらにX線やガンマ線まで放射します。一般にその継続時間は

短く、数10マイクロ秒から数ミリ秒程度のものが多いです。従って、探査機の電波受信機や測光機がそうした信号を記録すると、雷を想像します。ただし、探査機の帯電による放電や、装置自体や宇宙線が発するノイズ、自然に発生するプラズマ波動も疑わなくてはなりません。

1980年代になって、探査機による金星の観測が始まると、光学観測と電波観測の両方で、雷の存在を支持する論文と、否定する論文が出版されるようになりました。Krasnopolsky (1983) [1]は、ベネラ9号のランダーに搭載された測光機が記録したランダムな短時間発光から、雷起源の可能性を報告しました。Borucki et al. (1981) [2]は、パイオニアビーナスオービターのスタートラッカーのデータを調査しましたが、結局、宇宙線によるパルスを経験的に排除することができませんでした。Russell et al. (1991) [3]などはパイオニアビーナスオービターのVLF (Very Low Frequency) 受信機やビーナスエクスプレスの磁力計で、雷起源の波形を捉えたと主張していますが、多くの研究者はその結論には懐疑的です。米国の惑星プラズマ波動の第一人者のDonald Gurnett博士らは、木星に向かう探査機ガリレオが金星フライバイを行った際の、周波数100kHz - 5MHzの波動観測データに基づき、金星の雷電波を観測したとする論文を1991年にScience誌に載せてい

ます (Gurnett et al. 1991) [4]。その一方で、約10年後に同じく金星フライバイを行った土星探査機カッシーニのデータからは、雷の存在を示す統計的に優位な情報はなかったと、2001年にNature誌に発表しています (Gurnett et al. 2001) [5]。Gurnett 博士は米国地球物理学連合 (AGU) の2006年の受賞講演 (フランクリンレクチャー) で、金星の雷についても触れていましたが、結論は曖昧でした。私は講演後にステージを降りた博士に近付き、結局どう思っているのかと本音を尋ねましたが、「分からない、自身のライフワークだ」と返されました。博士は2022年に永眠されましたが、いま天国でどう思っておられるのか気になるところです。金星の雷の観測は、地上の天体望遠鏡でも試みられ、Hansell et al. (1995) [6]は1.5mのアリゾナの望遠鏡を使い、約4時間に6-7個の雷発光を記録したと報告しています。ただし、その後同様の望遠鏡観測を試みたアラスカ大学のDavis Sentman博士 (彼もAGUのフランクリンレクチャーを行った大気電場研究の著名人です) は検出できなかったと語っていました。これまでのところ、金星雷の存在にポジティブな論文とネガティブな論文は、ほぼ同数になっています。惑星や惑星雷の専門家だけでなく、地球を含む大気電場や宇宙プラズマ研究の大家が挙って挑戦し、それでもコンセンサスに至らないミステリアスな現象が金星の雷なのです。

雷が観測できると何が嬉しいか

金星に果たして雷があるのか否か、それ自体がロマンですが、ではそれが明らかになったとして、科学的にはその先にどのような展開が期待できるのでしょうか。

雷とは、積乱雲の中で電荷の分離 (静電気) が起こり、その不均一な分布を解消するために電流が流れる電荷の移動現象

ということが出来ます。つまり、電荷分離と、その後の劇的な絶縁破壊による電流の発生という、2つのプロセスで成り立っています。この電荷分離のメカニズムについては、1970年代に当時ハワイ大学におられた高橋 勲博士が室内実験に基づいて提唱された、氷晶と霰の摩擦によるとする理論が広く受け入れられています。それによれば、凍った水の粒があること、軽い氷晶と重い霰が摩擦を起こすための鉛直気流があることが電荷分離の条件になります。ただし電荷分離機構は他にもいくつかの説があり、全容が完全に分かったわけではありません。絶縁破壊は気圧と電荷密度によって決まりますが、最後のトリガーは宇宙線粒子が絡む場合もあります。オーロラの爆発的な増光や地震の発生と同様に、破壊現象の1つである雷の絶縁破壊のメカニズムは、その完全な理解にはまだ時間がかかるでしょう。このように雷は電荷分離と絶縁破壊という、観測や理解の困難な基礎過程から成る現象です。その一方で、その発生頻度の時間変化は比較的シンプルで、積乱雲の成長過程やその集合体である線状降水帯、台風といった極端気象現象の監視と予測に、他に代え難い貴重な指標となりうるということが明らかになってきました。気象衛星からの雲の撮影や、地上レーダー観測だけでは、大気循環の原動力である積乱雲の鉛直輸送能力を推定することは困難ですが、雷はその指標として有効で、かつ観測が容易です。1920年代の大気静電場研究ブームのあと、雷に対する科学的な興味は下がった時代があるのですが、地上の広域電波観測や衛星からの光学・電波観測の時代を迎えると、その科学的・実用的価値が次第に認められてきます。現在、欧米・中国の静止軌道気象衛星には雷観測カメラが標準装備として搭載されるようになりました。

もし金星に雷が発見されれば、大気中の電荷分離や絶縁破

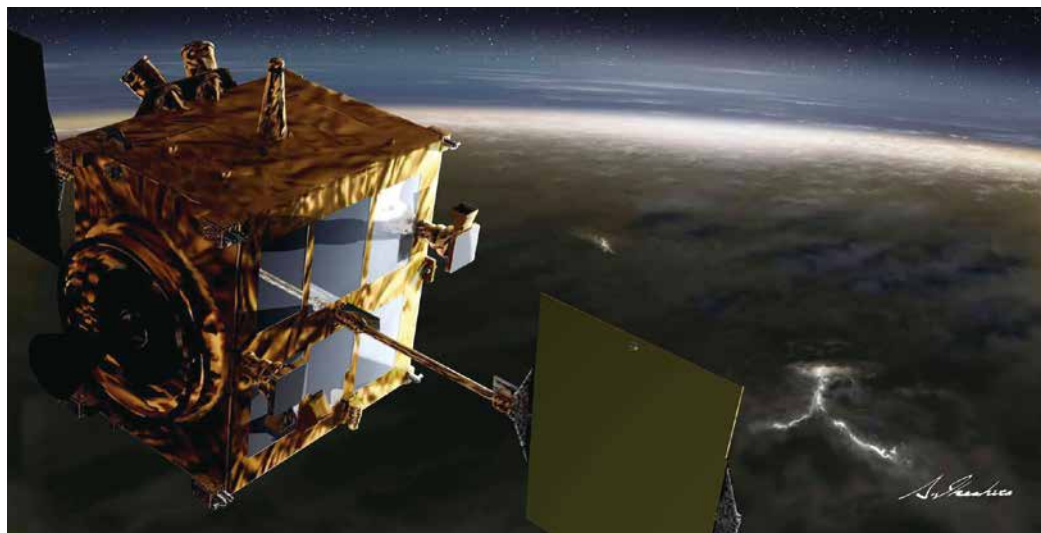


図1: 金星上空を飛行する「あかつき」の想像図。右下には雷が描かれています。
画: 池下 章裕

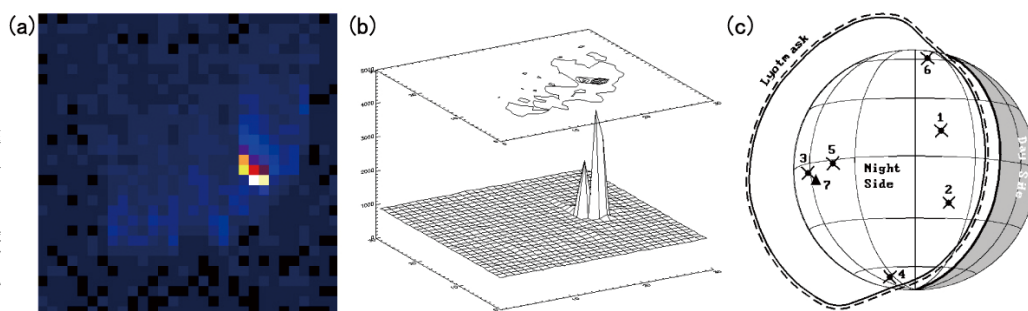


図2: 地上の口径1.5mの望遠鏡で観測されたとされる金星夜面の発光現象のCCD画像 (a) とその等高線表示 (b)。4時間弱で7個の雷発光候補が記録されています。(c) の1から7にそれらの位置が示されています (Hansell et al. 1995)。

壊の理解が進み、地球に限定されない普遍的なモデルが構築されるでしょう。また発生頻度や放電規模が観測できれば、地球に比べ観測情報が少ない金星大気運動の全球的な規模での把握に役立つことが期待できます。さらに、地球を含む惑星の大気成分は雷放電によって変調されるという可能性が指摘されています。例えば、地球の対流圏上部から成層圏下部の窒素酸化物などは、雷放電によって生成されているという仮説があります。こうした背景から、「あかつき」の搭載装置の1つに、光学的に雷を観測するLAC (Lightning and Airglow Camera) を提案するに至りました (Takahashi et al. 2008) [7]。金星上空を飛行する「あかつき」の想像図には、期待を込めて雷発光を描いていただきました (図1)。

さて、LAC搭載が決まったあと、高橋 功先生に、そのことを恐る恐る報告しました。なにしろ、氷晶-霰理論の提唱者です。その理論は「凍った」「水」と「鉛直対流」を要素とするのですが、金星の雲は純水ではなく濃硫酸、その殆どが凍結していないと推測され、強い鉛直対流を示す積極的な証拠もありませんでした。こうした事実から、氷晶-霰理論を学んだ研究者は、金星の雷の存在には否定的な人が多かったと思います。ところが高橋先生は開口一番、(金星の雷は)あります、ありますと叫ばれました。そのことにとても励まされたのと同時に、偉大な研究者は自身の作った理論にさえ縛られないものなのだと感銘を受けたのを思い出します。

LACによる波形の記録

まずは、雷が存在するかどうかにかんがって決めねばなりません。そのためには、パルスノイズと雷発光を明確に分離する必要があります。そこで、高い空間解像度を諦めて32画素とし、その代わりに測光のサンプリング周波数を20 kHzと高速にして、地球の雷と同じ短時間の現象であっても増光・減光の変動を滑らかに捉えられる設計としました (図3及び表1参照)。また、金星大気の主成分であるCO₂を使った放電実験の結果に基づき、最も顕著な酸素原子輝線 (777 nm) 用の狭帯域フィルターを装着しました。感度は、地球での衛星観測の結果などを参考にして、金星に再接近したときは、地球の雷の1/10以下の発光も検知できるよう設定されています。

「あかつき」の軌道が当初よりも長楕円になり周期も長くなったことで、金星の影でのみスイッチが入るLACの観測時間は、当初予定の約1/20のペースにはなりましたが、2016年には無事観測を開始することができました。ところが、観測開始から4年間、記録されるのは宇宙線によるパルスばかりで、雷を思わせる光度曲線は1つも得られませんでした。そしてようやく2020年3月、ついに1つのイベントがトリガー記録されました。その発光は、典型的な地球雷の数ミリ秒よりは遥かに長い約200ミリ秒でした。この継続時間は、流星 (火球) の可能性も否定できません。ただし、観測された光度から、その明るさの流星がLACで観測される確率を求めたところ、0.1%から8.3%でした。さらに200ミリ秒という継続時間は流星としては短いことを考慮すると、流星である確率はさらに小さくなります。他方、地球周回軌道で観測された地球の雷にも、このLACのイベントと類似した継続時間が数100ミリ秒を超えるものもあります。これらの事実を踏まえ、私たちは流星や隕石落下の発光を完全に否定することはできないものの、雷放電発光である可能性が極めて高いと考えて

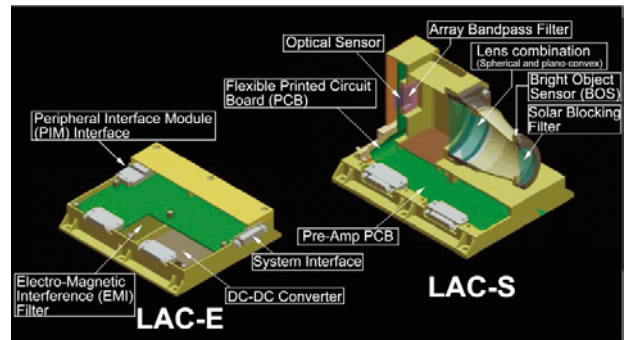
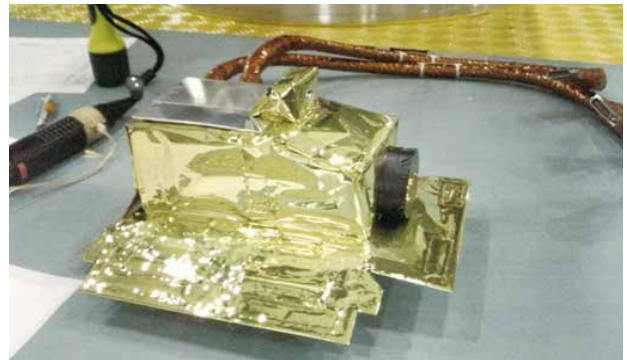


図3:「あかつき」に搭載された雷・大気光カメラ (LAC) の外観と内部構造。

FOV	16x 16 deg (16 x 8 deg for lightning)
Lens	Single 25 mm diameter of effective area
Sensor	8x8 multi-anode SiAPD (Silicon Avalanche Photo Diode)
Pixel size	2 mm x 2 mm
Bit rate	10 bit/pixel for lightning measurement
Spatial resolution	630 km @3Rv, 35 km @1000km /pixel
Observation mode	Lightning observation mode 777.4 nm[OI] 20 kHz pre-trigger sampling Airglow observation mode 480-605 nm[O ₂ Herzberg II], 557.7 nm[OI], 545.0 nm[BG] 10-60 sec integration

表1: 雷・大気光カメラ (LAC) の仕様。雷観測モードでは1秒間のサンプリングが20 kHz (50マイクロ秒間隔) で、短時間発光の光度曲線が得られるようになっている。

います (ジャーナルのレフリーと議論中)。今後は、「あかつき」で得られたこの光度曲線を手がかりに、それに似た地球の雷が発生する気象学的な条件を調べることで、金星で得られた雷情報の意味を探っていきたいと考えています。同時に、LACの波形を参考に、最新の高速撮像観測装置を活用した地上望遠鏡による雷発光計測の展開も予定しています。

【参考文献】

- [1] Krasnopolsky, V.A., Venus spectroscopy in the 3000–8000 Å region by Veneras 9 and 10, in Venus, ed. by D.M. Hunten et al. (Univ. of Arizona Press, Tucson, 1983), pp. 459–483
- [2] Borucki, W.J., J.W. Dyer, G.Z. Thomas, J.C. Jordan, D.A. Comstock (1981) Optical search for lightning on Venus, Geophys. Res. Lett. 8, 233–236. doi:10.1029/GL008i003p00233
- [3] Russell, C.T. (1991) Venus lightning. Space Sci. Rev. 55, 317–356.
- [4] Gurnett, D.A., W.S. Kurith, A. Roux, R. Gendrin, C.F. Kennel, S.J. Bolton (1991) Lightning and plasma wave observations from the Galileo flyby of Venus. Science 253, 1522–1525. doi:10.1126/science.253.5027.1522
- [5] Gurnett, D.A., P. Zarka, R. Manning, W.S. Kurth, G.B. Hospodarsky, T.F. Averkamp et al. (2001) Non-detection at Venus of high-frequency radio signals characteristic of terrestrial lightning. Nature 409, 313–315. doi:10.1038/35053009
- [6] Hansell, S. A., W. K. Wells, and D. M. Hunten (1995) Optical detection of lightning on Venus, Icarus, 117, 345–351.
- [7] Takahashi, T., J. Yoshida, Y. Yair, T. Imamura, M. Nakamura (2008) Lightning detection by LAC onboard the Japanese Venus Climate Orbiter, Planet-C, Space Sci. Rev., DOI 10.1007/s11214-008-9400-x, 2008.

観測ロケットS-520-34号機の打上げ

液体推進剤を用いた回転デトネーションエンジンシステム(DES)の宇宙空間での作動実証を目的としたS-520-34号機は、2024年11月14日の11:30(JST)にJAXA内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。

DESの宇宙実証は今回で2度目です。1度目は燃料にメタンガス、酸化剤にガス酸素を用いたエンジンであり、S-520-31号機により2021年に打ち上げられました。この時はデトネーションエンジンの世界初の宇宙実証という快挙を成し遂げましたが、その実用化のためにはまだ解決せねばならない課題が多くありました。その1つは推進剤をガスより密度の高い液体に変え、同じタンク容積であってもより多くの推進剤を搭載出来るようにすることです。そこで今回、燃料にエタノール、酸化剤に亜酸化窒素を用いたエンジンの開発・宇宙実証を目的としました。実験では計画通りの燃焼データが得られ、またもや液体推進剤を用いたエンジンとして世界初の快挙となりました。窒素ガスを用いてエンジンに推進剤を供給したため、全体としては31号機の大きさから殆ど変わりませんが、一歩一歩実用化に近づいている感がひしひしと伝わってくるエンジンです。

当初8月に計画していた34号機の打上げは、日向灘を震源とするM7.1の地震の影響により、ロケットの先端部(頭胴部)をロケット本体に結合する直前で延期となりました。次の打上げ時期であ

る11月までの保管のため、頭胴部に搭載されていたDESのほか、尾翼などを一旦取り外すという異例の逆行作業を経験しました。誰もが想定していなかった作業ですが、皆が冷静に対応し、打上げを無事に迎えることが出来ました。良くも悪くもフライトオペレーション参加者の熟練度が試された機会でもあったのです。

DESを開発したのは名古屋大学の笠原研究室です。笠原教授を筆頭とする教員7名のもと、数名の学生が地上試験から打上げまで通じて参加しました。学生時代から実践的な環境で多くを学ぶことが出来る観測ロケットという実験プラットフォームは貴重な場であり、大変な中でも生き生きと作業されていた皆さんの姿は今でも印象に残っています。

末筆になりましたが、今号機の打上げに対しご理解とご協力を頂いた全ての皆様に、この場を借りて御礼申し上げます。

(観測ロケット実験Gr. 増田 純一)



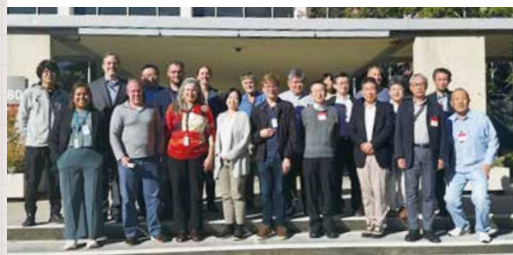
S-520-34号機の全機組立がようやく完了し、ランチャに初めて搭載されたのは11月11日でした(写真はDES班の皆さんとランチャに搭載されたS-520-34号機)。

天文・宇宙物理分野における JPL-ISAS 合同ワークショップ(第1回)の開催

2024年10月29-31日に、米国カリフォルニア州パサデナ(ロサンゼルス郊外)のジェット推進研究所(JPL)で、「天文・宇宙物理分野における第1回のJPL-ISASの合同ワークショップ」が行われた。日本から宇宙研のメンバー8人に広島大学、国立天文台の研究者を合わせた10名、米国側はJPLとおよびIPAC(カリフォルニア工科大学の天文学データセンター)の研究者10数名が参加して、赤外線天文学を主要なテーマとして、活発な議論が交わされた。このワークショップは、天文学/宇宙物理学分野で宇宙研とJPL間の交流をより活性化させることを目指して行われた、新しい試みの機関間の活動である。2024年2月に國中所長・藤本副所長らがJPLを訪問した際、天文・宇宙物理分野での宇宙研-JPL間の協力はこれまでもNancy Grace Roman宇宙望遠鏡での協力や、赤外線天文学での協力などがあるが、今後の「種」となるような共通の興味に基づいてじっくりと協力を進めてゆけるような課題をみつけるようなことも含めて交流を活性化できないか、という議論があったそうである。これを

受けて、当該分野の研究者間で定期的なワークショップという形式で交流を進めていく方針が合意されて、企画された。初

回の主テーマは赤外線天文学とすることに決まり、これに加えて、今後の協力が期待される系外惑星も取り上げ、関係者も適宜参加することとなった。さて、ワークショップ当日には、双方から、現在および近未来のミッション計画の概要を共有する議論にはじまり、赤外線天文観測に関連する科学課題、技術課題についての発表が行われたほか、宇宙マイクロ波背景放射観測やHabitable Worlds Observatoryへの期待も含む太陽系外惑星観測の話題も紹介された。また、とくにお願いして、Roman望遠鏡コロナグラフ装置の開発が行われた「高コントラスト観測実験装置(テストベッド)」や、現在PRIMA計画の検出器開発が行われている赤外線検出器ラボを訪問し、JPLの技術水準の一端を理解し、刺激を得ることができた。ワークショップの成果としては、(1)議論を通じて共通の興味となりそうな課題が提示され、(2)今後の交流におけるそれぞれの課題のコンタクト・ポイントとなるキーパーソンをとりまとめることができたこと、である。共通の興味となる内容はNASA側のPRIMA計画、日本のGREX-PLUS計画に関連する協力から、潜在的な科学および技術課題への関心・協力が及んでおり、双方の参加者から、有意義なワークショップであったという感想が示された。次回は2025年に宇宙研にJPL研究者を受け入れる形でワークショップを継続開催することとなった。パサデナの有名なアルゼンチン肉料理店での夕食会や、ちょうどハロウィーンのイベントと重なったことから最終日にはJPL関係者の仮装(天文副部長は「レッドスーツ」でした)も見られたりなど、さまざまな交流も楽しめた機会となった。(山田 亨)



主要な会議参加者の集合写真。

はやぶさシンポジウム(第11回宇宙物質科学シンポジウム)開催報告

2024年11月12日から4日間にわたり、ISASにて「はやぶさシンポジウム」が開催されました。「はやぶさ」帰還後の2013年から始まったはやぶさシンポジウム(宇宙物質科学シンポジウム)は、「はやぶさ」や「はやぶさ2」といったサンプルリターンミッションによる帰還試料の研究成果を発表し議論する場であるとともに、より広く惑星科学の発展へ寄与することを目的として開催しています。

今年で11回目となる本シンポジウムは昨年同様、会場とZoomでのハイブリッド形式にて開催されました。NASAの「OSIRIS-REx」帰還試料の分析結果に関する第一弾論文が出版されて以降初めてのシンポジウム開催であり、関連する最新成果の発表も多数おこなわれました。発表件数は合計80件(口頭71件、ポスター9件)と過去最大級ののぼり、会期は前年までより1日長い4日間での開催となりました。



国内外からの参加者が集まるシンポジウム会場。

現地参加者は国内外から延べ250名(オンライン: 延べ233名)となり、本シンポジウムがサンプルリターンミッションの成果発表をお

こなう主要な場として確立しつつあることが伺えます。

地球外物質研究グループからは、これまでに受け入れた帰還試料のキュレーション活動状況や今後のミッションに向けた準備に加え、汚染管理に関する講演もおこなわれました。活発な質疑から参加者の関心の高さを感じました。今年のポスター発表は現地のみでの開催でしたが、コアタイムはもちろんそれ以外の時間帯にも活発な議論が交わされており、現地開催ならではの光景でした。

今年は新たな試みとして、試料展示によるアウトリーチ活動をテーマとしたパネルディスカッションや、VRで小惑星リュウグウ表面を動き回ることができる体験イベントが開催されました。他ミッションと横断的、かつ、キュレーション関係者以外のISASメンバー、さらには研究者以外の方も参加できる「はやぶさシンポジウム」ならではの内容となりました。また、新型コロナウイルス感染症の影響により開催を見送っていた懇親会も、ひさしぶりに開催し盛況でした。

このように、今年はハイブリッド開催ではあるものの現地参加ならではの良さを感じるシンポジウムとなりました。来年度も、参加者同士のコミュニケーションの場として、現地会場へ足を運ぶことの意義をより大きく感じられるようなシンポジウムにできるよう工夫していきたいと考えています。(中野 有紗)

第1回MMX会議が開催されました。

2024年11月12日から15日の4日間、第1回MMX会議がISAS内の会議室にて行われました。と書くと、MMXの事情通の人は、「あれ? 4月に行ったMMXの会議、確か9回目だったのでは?」^{*1}と思うかもしれません。確かに、これまでは「MMX設計会議」として9回の会議を重ねてきました。MMXでは2026年の打上げを見据えて、テーマ毎にチームで会議等にて意見交換をしながらプロジェクトを進めていますが、まとめられるものはまとめて行った方が効率的に情報共有出来るのでは、とのことで、複数の会議をまとめて開催することになりました。その第1回目が今回です。

今回の会議もハイブリッドで行いました。国内外から約50名が現地参加。オンライン上でも約90名が参加しました。特に今回は海外からの現地参加者が多くNASA、JHU/APL^{*2}、CNES、DLRといった機関から約20名が参加しました。今回の会議構成は以下のようになっています。

- 初日 プロジェクト全体会議
- 2日目 地上システム全体会議
- 3日目 ミッション機器チーム会議
- 4日目 運用全体会議

初日のプロジェクト全体会議では、まずプロジェクトマネージャの川勝 康弘教授が、プロジェクトの状況について報告しました。そして、三菱電機の上原 晃斉氏から、今後の開発スケジュールや総合試験スケジュールの報告がありました。



第1回MMX会議の集合写真。

サイエンスの活動では、11/4-6にパリで開催されたサイエンスの会議について、広報担当からは、最近の相模原キャンパス特別公開や宇科連についての報告もありました。2日目以降も、今後の地上試験計画や、火星圏に到達してからの運用計画などの議題では、会場内では議論が白熱し、質疑が飛び交いました。現地開催のいいところだと思います。4日間通してMMXに関わる様々な情報共有が出来たことで、特に海外から現地参加された方からは非常に満足したとの声を頂きました。

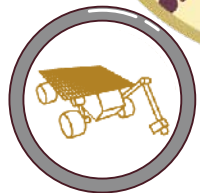
会議初日の夜に、懇親会を行いました。いつもと違い、今回は淵野辺駅の近くの居酒屋で行いました。いわゆるジャパニーズスタイル。焼き鳥や鍋をつつきながら、互いの距離も近く、会話もはずみ、交流とコミュニケーションのよい機会となりました。また、海外機関の代表者の方からひとことずつ挨拶をいただき、MMXが国際協力で進んでいることを改めて実感しました。

次回のMMX会議は、来年6月の開催を予定しています。

(矢治 健太郎)

*1 <https://mmx-news.isas.jaxa.jp/?p=2383&lang=ja> *2 ジョン・ホプキンス大学応用物理研究所

J-Moon's Big Three

次、月で
何する？月面その場分析と
サンプルリターンの科学

月の主な地質活動は地球と比較して早い時期（約30億年前）に終了したため、月面には地球型惑星の初期進化履歴や太陽系の力学的進化の歴史が地質記録として保存されています。それらを読み解くためには、適切に選別された月面露頭の地質探査とサンプルリターンが必須です。本連載ですでに紹介されてきたように、国際的な月面探査が活発化している状況下において、それらの機会を利用した科学探査の検討は急務と言えます。我々は3科学（本連載第2回を参照*）を並行して推進するためのチームを組織し、独自の月面探査実現に向けた科学検討を進めています。その中でも我々は月面サンプルリターン探査による第一級の科学成果の導出を目指し、リモートセンシングデータ解析による将来探査領域の調査・選定、その場試料選別のための観測機器の開発、持ち帰られた試料の分析フローの検討を進めています。

我々が目指す科学は、(1) 月形成直後にマグマオーシャン（LMO: Lunar magma ocean）から直接つくられた始原地殻岩のサンプルリターンによって、LMOの組成を決定し、SLIMの観測結果と統合して地球-月系形成条件を制約すること、(2) 巨大衝突で作られた衝突溶融岩のサンプルリターンによって、太陽系初期に起こったとされる巨大惑星の軌道移動と、それに伴った衝突頻度が増加したとの仮説を検証することです（図1）。し

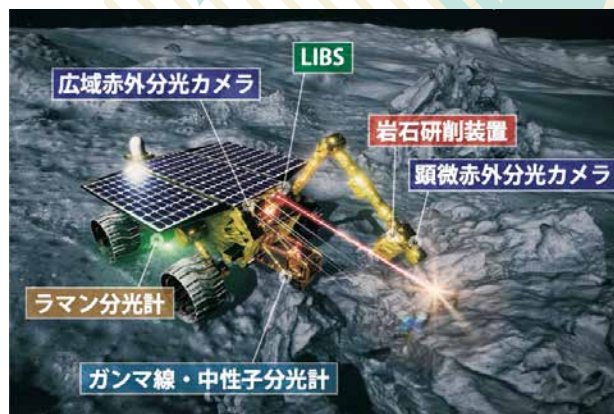
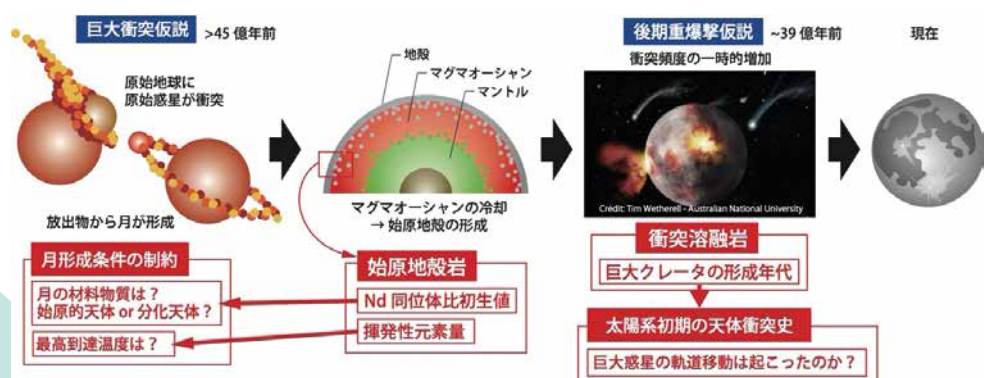


図2：無人ローバによる月面その場観測のイメージ。

かし月面は40億年以上に及ぶ天体衝突による衝撃変成を受けているため、大部分の岩石は形成イベントに関する始原的情報が失われています。それゆえ、形成後に二次的な変成を受けていない岩石を月面で選別する必要があります。そして月面での始原的岩石の選別には、その場で岩石組織観察による低衝撃変成の試料を同定し、鉱物・元素組成計測を行うための高度な分析装置が不可欠です。なぜならば地質調査の訓練を受けたアポロ宇宙飛行士であっても、目視観察では月面で始原的な岩石を選別することは困難だったからです。そこで我々は、探査領域の地質把握とリモートセンシングデータとの接続を目的とした元素・鉱物組成把握のための「ガンマ線・中性子分光計」と「広域赤外分光カメラ」、詳細地質把握と試料の元素・鉱物組成、岩石組織観察のための「岩石研削装置」、「顕微赤外分光カメラ」、「レーザー誘起絶縁破壊発光分光計（Laser-induced breakdown spectroscopy; LIBS）」、「ラマン分光計」、その場年代測定のためのLIBS-質量分析計による「カリウム-アルゴン年代計測装置」の開発を進めています。それらの装置の無人ローバ探査や有人探査への搭載を目指しています（図2）。

これらの月面その場観測技術は、火星やその他の重力天体における表面探査においても主軸となることが期待されます。また、将来の月面利用に向けた水や金属などの資源探査に加え、長距離月面移動技術開発や建設技術開発のための地質・地盤調査にも活用可能です。さらに岩石研削装置やLIBSの要素技術は月面建材の製造技術とも高い親和性を有しています。月面有人基地の建設に向けては、段階的に月面環境に関する知見を深め、月面活動に必要な技術を着実に獲得していくことが必須です。月面その場観測探査及び、サンプルリターン探査はその第一歩に位置づけられると考えています。将来の月面活動に新規参入を計画している多様な分野の研究者や企業との協力関係の構築にも注力しており、こうした連携を通じて持続可能な月面探査の基盤を築くことを目指しています。

東京大学理学系研究科：諸田 智克（もろた ともかつ）



* https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews524.pdf



能代市企画部市民活力推進課 主査

見立屋 駿介 (みたてやしゅんすけ)

JAXAと紡ぐつながりの輪

8月16日の朝のこと。イベントの会場準備のため、持ち込み物品を確認する私のもとへ能代ロケット実験場より入電がありました。

— ISASニュースのいも焼酎に

記事を書いていただけませんか？—

ほどなくして執筆依頼のメールもいただき、バックナンバーを確認。錚々たる顔ぶれの中、一担当職員が執筆すること大変恐縮しつつも、JAXAと能代市の関わりについて知っていただくまたとない機会と考え、筆をとらせていただきました。

1962年に東京大学生産技術研究所の実験場として開設されて以降、能代ロケット実験場では、日本の航空宇宙産業を支える各種燃焼試験が行われています。

実験の際は周辺自治会や地元企業などとの調整のため、能代市としても記者クラブへの情報提供や、実験の規模に応じた防災行政無線による広報を実施し、市民の皆様にご理解をいただけるよう、能代ロケット実験場と連絡を取り合いながら実験の周知を行っています。

今年の11月には、同実験場でH3ロケットに続く次世代のロケットの燃料として期待される液体メタンの安全評価実験が始まり、実験結果をもとに保安距離等の基準作りがなされたと伺っています。このような、今後のロケット打上げの根幹を担う重要な実験が本市で行われることは大変喜ばしいことであり、これまで築いてきたJAXAと能代市、そして市民の皆様とのつながりやご理解があつてこそものだと感じています。

前述の実験のほか、本市にはJAXAとのつながりから生まれた「銀河連邦」という県外自治体とのご縁がございます。

1987年に建国された銀河連邦は、JAXAの宇宙関連施設がある5市2町で構成されており、各共和国持ち回りで開催される子ども留学交流や、イベントなどでの名産・特産品の販売といった事業を行っているほか、災害時には被災地へ応援を行う協定を締結するなど、30年以上にわたり、友好関係を築いています。

今年の10月に能代市で開催され、各共和国が一堂に会した「銀河連邦フォーラム」では能代ロケット実験場のご協力により、施設内の見学やJAXA職員により講話をいただき、本市のPRや魅力発信の機会となりました。

また、2011年に能代市で行われた「はやぶさ帰還カプセル特別展示」を契機に「宇宙のまちづくり」をすすめるため、本市では、翌年の2012年にロケット実験場開設50周年・銀



のしろ銀河フェスティバルでのJAXAコラボ企画の様子。

河連邦友好交流25周年事業として、「のしろ銀河フェスティバル(通称「銀フェス」)」をスタート。開催にあたっては、JAXAと本市の間で「宇宙科学の教育普及活動等に係る連携協力に関する覚書」を締結し、宇宙教育の分野においてもJAXAから多大なご協力をいただけることとなりました。

今年で11回目の開催となる銀フェスでは、宇宙関連の展示等がある能代市子ども館内でのイベントのほか、能代ロケット実験場内でのJAXAの先生方の講演や、ロケット燃焼実験の模擬体験や科学実験、実験場の特別公開など多数の催しを開催。さらに能代エナジウムパークではJAXAと本市のVtuberである「宙彩しろん」とのコラボ企画を行うなど、能代だからできる催しとなり、本市をはじめ県内外の将来を担う若い世代を中心に多くの交流を生み、宇宙科学への理解や普及を進める推進剤の役割を果たすイベントに成長していると感じています。

筆者は今年から宇宙のまちづくりの担当となりましたが、お恥ずかしながら宇宙科学の知識にはこれまであまり触れてきませんでした。しかし、アメリカのスペースX社が宇宙船試験飛行でロケット部分を発射台でつかみ、回収を初成功させるニュースや、NASAの木星の衛星に向けた新探査機打上げ、ここ日本においてもH3ロケット4号機の打上げが成功するなど、ロケット開発の大変な盛り上がりは近年耳にしており、地球を離れ、宇宙へ飛び出していく映画やアニメ、漫画などで見ていたような世界が少しずつ現実のものとなっていくことにロマンを感じています。その中で、ロケットを打ち上げる基礎となるエンジンや燃料に係る試験は、今後も開発の重要な位置を占めるのではないかと。そういった意味でも、能代に実験場があるということは非常に意義のあることであり、実験場開設以降、60年以上にわたって紡いできたJAXAとのつながりをこの機会に市内外に広く知っていただくチャンスなのではないか…！と期待を膨らませています。

JAXAの皆様とは今後も行われる様々な試験に関連した調整や、イベント等による協力だけでなく、私のような初学者や「宇宙に興味はあるけれど難しそう…」と感じている方など、様々な方へJAXAと本市の取り組みをPRし「能代ってすごいところなんだ！」と思ってもらえるような広報活動をしていきたいと考えています。

JAXAと紡ぐつながりの輪がさらに大きなものとなるように、筆者も頑張ります。能代市の宇宙のまちづくり、今後ぜひ注目していただけたら幸いです。

》たくさんの点を打っていきたい。
やがて点と点がつながるから。

自分の強みを生かしたミッション支援を模索中

——JAXAに入って2年目、宇宙科学プログラム室に所属されています。どのような仕事をされているのでしょうか？

メインの仕事は、まだプロジェクトの卵のようなごく初期段階にあるミッションを支援することです。私は、赤外線位置天文観測衛星JASMINE(ジャスミン)と高精度紫外線宇宙望遠鏡LAPYUTA(ラピュタ)に関わっています。

支援といっても明確なマニュアルがあるわけではなく、どのように関わるかは各自の裁量に任されています。今、自分の強みを生かしてどのような支援ができるのかを探っている真っ最中です。まずは全体の状況を把握する必要があると考え、積極的にチームに入っていってメンバーとコミュニケーションを取って検討に取り組んでいます。

ミッション支援では特定のミッションに深く関わりますが、宇宙科学プログラム室のほかの仕事では、計画段階から運用中のものまで、すべてのミッションを横断的に見ることも求められます。例えば、天文ミッションに共通する望遠鏡の開発における課題を解決するための議論を進めたり、追跡ネットワーク技術センターが主導する次期地上局の検討について宇宙研の様々なミッションの要求を取りまとめたり、複数の研究機関で実施する小規模な宇宙科学プロジェクト(例えば海外の観測ロケットや国際宇宙ステーションの飛翔機会を利用した計画など)の全体的なマネジメントを行ったりしています。

打上げや探査機の着陸などの際には人手が必要なので、宇宙科学プログラム室にも応援要請が入ります。私も、X線分光撮像衛星XRISMの打上げや小型月着陸実証機SLIMの月面着陸のときに追跡管制隊として、JAXA内外の関係機関との情報連絡を担当しました。宇宙科学プログラム室は何でもやる、何でもできるというのが、この1年半で感じたことです。

チームで成し遂げる仕事をしたい

——宇宙科学プログラム室への配属を希望したのでしょうか？

有人宇宙活動や惑星探査に関わりたいという希望を出していました。大学院では赤外線天文学の研究室で系外惑星観測を行っていたので、それとは違うことをやるのも面白いのかなと思っていました。そのため宇宙科学プログラム室に配属されたときは驚きましたが、将来的には宇宙科学ミッションに関わりたかったので今では配属されてとても良かったと思っています。

新しいことに挑戦したいと思う一方で、最も関心があったのは、やはり天文ミッションです。その思いをくんだ配属だったのかもしれませんが、しかも、JASMINEは系外惑星観測、LAPYUTAは系外惑星の大気観測

宇宙科学プログラム室

近藤 依央菜 (こんどう いおな)

1995年、東京都生まれ。大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻博士課程修了。博士(理学)。2023年より現職。



を行うミッションなので、大学院での研究とも関連しています。

JASMINEは2024年7月、プロジェクトを進めていくうえで最初の難関ともいえるミッション定義審査を受けました。その審査を乗り越えるために、チーム一丸となって今までの検討を振り返り、文書の作成や課題の洗い出しを行いました。実は、チームで成し遂げる仕事をしたいという思いから、JAXAへの就職を選んだのです。この審査を終えてからも、JASMINEでは引き続きチームと関連企業のエンジニアの方々とで一体となって技術的な議論を頻繁に行い、望遠鏡や検出器などの概念検討を進めています。JASMINEがプロジェクト化されるまでには、まだいくつものステップがありますが、チームで力を合わせて乗り越えていきたいと思っています。

——チームで成し遂げる仕事をしたいと思うようになったきっかけとは？

大学院生のとき、大阪大学が主導する国際共同プロジェクトのPRIME(プライム)望遠鏡の検討および立ち上げに参加しました。特に思い出に残っているのは南アフリカのサザランド観測所で実施した赤外線カメラの望遠鏡への取り付け作業です。このとき、NASAの共同研究者と私たち大阪大学のメンバーが合同で現地作業を行いました。しかし、現場はトラブル続きで、とても大変でした。

NASAがカメラ開発、私たちが光学調整および観測ソフトウェア開発と担当は分かれていましたが、トラブル時には担当を超えて一緒に考えなければ、解決できません。朝から深夜まで議論を重ねる日が続きました。しかも英語です。研究室に報告し、判断を仰がなければいけないうちもありました。南アフリカと日本には時差があるので、睡眠もあまり取れませんでした。無事にカメラが取り付けられ、光学調整も終わり、ソフトウェアも動作し、天の川をきれいに撮影できたときは、ものすごく感動しました。しんどかったけれども、楽しかったです。

私は望遠鏡を完成させる最終段階に携わりましたが、この望遠鏡プロジェクトは10年以上前から進められていて、私たちの研究室だけでも数十人の人が関わってきました。みんなが力を合わせ、つないできたのです。こうした南アフリカの望遠鏡プロジェクトの経験から、チームで成し遂げる仕事をしたいと思うようになり、JAXAへの就職へとつながっていききました。

——ご自身の強みはどのようなことだと思いますか？

何にでも興味を持ち、どんなことでも楽しいと思えることが、私の強みかもしれません。面白そうだと思ったら、やってみることを心掛けています。まずは、さまざまなことに挑戦し、たくさんの点を打っていきたいですね。それぞれの点が関係ないように見えても、いずれ点と点がつながると思うのです。さまざまなことに取り組めるように体力と気力と精神力を養わなければならないと、最近強く感じています。

編集後記

今年は(懇親会なども含めて)対面の交流が本格的に復活し、やはり直接顔を合わせると話が盛り上がるのだという印象を受けた年でした。同時に、ハイブリッド形式での研究会も一般的となり、うまく使い分けていかなければと思う次第です。皆様、どうぞ良いお年をお迎えください。(生田 ちさと)



ISASニュース No.525 2024年12月号

ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
発行責任者/JAXA 宇宙科学研究所長 國中 均
編集責任者/ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠
デザイン制作協力/株式会社 トリッド
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1 isasnews@isas.jaxa.jp

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶ <https://www.isas.jaxa.jp/>